

平成 22 年 5 月 25 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19591992

研究課題名（和文）立体内視鏡とステレオナビゲーションの重畳表示画像を用いた鼻副鼻腔術式の研究

研究課題名（英文）Development of stereo navigation system in sinus surgery

研究代表者 鴻 信義（OTORI NOBUYOSHI）

東京慈恵会医科大学・医学部・准教授

研究者番号：90233204

## 研究成果の概要（和文）：

鼻副鼻腔手術をより安全で的確に行うため、ステレオナビゲーションシステムを開発した。実際の使用時は、まず術前にCT画像の3次元データを解析し、副鼻腔や頭蓋底また視神経などをそれぞれセグメンテーション（区分化）して立体臓器モデルを作成する。手術時、立体内視鏡を鼻内に挿入すると、臓器モデルが内視鏡画像上に、遠近感を保ちながら重ね合わせ表示される。従来の内視鏡手術と比較して術野の後方が透見できるようになり、有用性が確認された。

## 研究成果の概要（英文）：

We developed stereo navigation system for safer and more precise endoscopic sinus surgery. The usage of the system is as follows. At first, CT image of the patient is analyzed before a surgery. Then the sinuses and surrounding important structures such as skull base or optic nerve are segmented respectively to make 3-D organ models.

At the time of surgery, when we insert stereo endoscope in a nose, 3-D organ models are superimposed on an endoscopic monitor with a perspective view. In comparison with the conventional endoscopic surgery, the anatomy behind the surgical field becomes visible.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2008 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：外科系臨床医学・耳鼻咽喉科学

キーワード：鼻、副鼻腔、手術、ナビゲーションシステム、立体内視鏡

## 1. 研究開始当初の背景

1980年代に硬性内視鏡が鼻副鼻腔手術に導入され、術野が様々な方向から拡大明視下に観察できるようになり、従来行われていた裸眼下での手術に比べ手術操作の確さや安全性は飛躍的に向上した。しかしそれでもなお、頭蓋損傷・視器損傷といった重大な手術時副損傷の報告があとを絶たない。この原因として、1) 元来鼻副鼻腔は、眼窩や頭蓋などの解剖学的危険部位に囲まれた狭い空間であり、またその形態は個体差が大きい事、2) 内視鏡手術のための有効なトレーニングシステムがまだ確立されていない事、があげられる。さらに、3) 硬性内視鏡が表示する画像は平面的であり奥行きや左右への広がりなど立体感に乏しい事、も原因のひとつである。

このような状況の中、術野の位置情報を表示するナビゲーションシステムが開発され、脳神経外科定位脳手術で実際に応用が始まり、鼻副鼻腔の内視鏡手術でも応用されるようになった。ナビゲーションシステムは、術中に鼻副鼻腔に挿入したプローブの位置を患者の副鼻腔CT画像上にリアルタイムに表示する。CT画像は水平断、前頭断および矢状断に再構築されており、術者は、術野のオリエンテーションを周囲構造との位置関係と合わせて認識する事ができ、鉗子操作が円滑に行なわれる。手術時間は短縮され、また内視鏡手術の適応も副鼻腔疾患のみならず頭蓋底や眼窩内病変へと拡大されてきた。

一方で、現在のナビゲーションシステムの画面表示 (CT) は、水平断、前頭断および矢状断の3方向に再構築されているものの、基本的には二次元的な座標表示で

ある。これらの二次元的な位置情報をもとに、術者は頭の中で術野のオリエンテーションを3次的・立体的に構築しイメージしなおす必要があるが、この作業は熟練を必要とする。

## 2. 研究の目的

本研究は、立体視が可能な硬性内視鏡(以下、立体内視鏡とする)と、その立体画像を支援する新しい手術ナビゲーションシステムの開発を目的とした。すなわち、立体内視鏡が表示する三次元画像に、術野のオリエンテーションも三次元で重畳表示できるステレオナビゲーションの開発である。立体的な内視鏡画像上に、立体的なナビゲーション画像を融合させることで、より安全かつ的確に高度な手術操作が行なわれると考えた。

本研究の成果により、今までは一部の熟練した術者でなければ施行できなかった難しい手術も、より多くの術者が安全に施行できるようになると考える。

本邦では、毎年非常に数多くの鼻副鼻腔疾患症例が、手術療法の適応と診断され、内視鏡手術をうけている。国内の医療施設ならどこでも同様に、標準レベルの手術が施行できるようになる事は、社会的に大変意義があり、これを本研究の目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1) 立体内視鏡および専用モニターの準備

手術に使用する立体内視鏡は、1/6インチCCDを内視鏡内に組み入れ、左右一対の撮像系を有する二眼二カメラ式内視鏡である。画像表示はこの2視野から得られたものを合成した立体画像となる。外径は5.4mmで有

効長が30cm、重さは200gである。また焦点は内視鏡先端より20～25mmである。輻輳角は2.6～3.4度に抑えられ、長時間使用時でも術者は眼精疲労をほとんどおこさない。液体シャッター式軽量偏光眼鏡を装着して専用モニターを見ると、鼻副鼻腔内が立体視できる。

#### (2) 手術対象症例の選定

年齢、性別に関係なく、内視鏡下鼻副鼻腔手術の適応である慢性副鼻腔炎、副鼻腔嚢胞、副鼻腔腫瘍の患者に対し、本研究の目的と有用性また危険性について説明し同意が得られた患者を対象とした。

#### (3) 術前 CT 画像の解析

術前に撮影された副鼻腔 CT 画像 (SIEMENS SOMATOM Sensation 16) を高次元医用画像工学研究所にて解析した。水平断 CT 画像の中から後部篩骨洞や蝶形骨洞など後部副鼻腔内の構造物と、眼窩壁、頭蓋底、視神経、内頸動脈など周囲の重要構造物を区分化 (segmentation) し、色づけ (color coding) をした。

#### (4) ステレオナビゲーションの開発および立体内視鏡画像との重畳表示

ステレオナビゲーションシステムは、①立体内視鏡、②術野及びプローブの3次元的位置を術中に常時計測するための光学式3次元位置計測装置 (Polaris, Northern Digital Inc. : 慈恵医大付属第三病院ハイテクナビゲーション手術室に常設してある)、および ③立体内視鏡の画像をキャプチャし、その画像上にあらかじめ segmentation しておいた患者の画像情報を重畳表示して立体視を可能にする Graphic workstation から構成する。

#### (5) 手術の実施およびその評価

システムが目的通りに開発され、立体内視鏡画像上に副鼻腔および周囲構造の重畳表示が可能となったら、実際に立体内視鏡とステレオナビゲーションを用いた手術を行う。

### 4. 研究成果

今回我々が新たに開発したステレオナビゲーションシステムの概要を下記に示す。

#### (1) 3次元位置計測システム

立体内視鏡の手元部分と、患者の頭部に付着するヘッドバンドに reflecter を装着し、光学式計測装置 Polaris に、それぞれの位置関係を計測させる。

#### (2) Graphic workstation

重畳表示を可能にするため、まずは重要な CT 情報の segmentation と color coding を行う。医用画像処理ソフト ANALYZE (Mayo Foundation) を用い、後部副鼻腔および周辺臓器のみを抽出する事は、データ量の削減につながり、リアルタイム画像処理を容易にする。Color coding には、内視鏡画像の色調を考慮しこれを妨げないよう、緑色、黄緑色、黄色および青色を用いた。以上の操作により、手術をすすめる上で重要と考える構造物を周囲の組織から分離し独立した3次元臓器モデルとして扱えるようになった。

次に、Polaris で計測された内視鏡と患者頭部の位置情報を Graphic workstation に入力し、3次元臓器モデルと内視鏡画像上で重畳するコンピュータシステムを開発・改良した。

以上のシステムにより、術者は術野の3次元オリエンテーションを直感的に認識できるようになった。しかし、color coding に改良を加えても、遠近感の表示がまだ不十

分であった。3次元臓器モデルと立体内視鏡画像上の臓器とで、前後の位置関係が今一つ明らかに認識できなかった。そこで我々は、3次元オリエンテーションが客観的にも認識できるよう、以下のサイドモニターも作製した。

### (3) サイドモニター

2次元CT画像上に、color codingされた3次元臓器モデルを重ねて表示する2次元ナビゲーションモニターである。CT画像は、術野に挿入したプローブ先端の位置における前額断、水平断あるいは矢状断CT画像スライスを表示する。通常は前額断CT画像と3次元臓器モデルとの重ね合わせ表示が、オリエンテーションの客観的な認識を容易にする。立体内視鏡モニター上では、臓器モデルは前方からしか観察できないが、サイドモニター上では、臓器モデルを側方や上方からも観察できるので、プローブ先端の位置とモデルとした臓器までの距離や方向、また臓器同士の前後関係や術野の奥行きが、さらに立体的に正確に確認できるようになった。

### (4) ステレオナビゲーション手術の実際

システムが構築され使用が可能になった事をうけ、実際に鼻副鼻腔手術を行った(図1)。手術は全身麻酔下に行う。システムのセットアップが完了したら、患者の顔面皮膚7点(人中、左右内眼角と外眼角、左右耳垂)を用いてレジストレーションを行う。



図1：実際の手術風景

右から、通常の内視鏡モニター、重畳表示用の立体内視鏡モニター、サイドモニター。

この操作後に立体内視鏡を鼻内に挿入すると、3次元臓器モデルが内視鏡画像上に透亮像として重畳表示される(図2)。例えば、蝶形骨洞内にアプローチする際は、蝶形骨洞の3次元モデルを表示する。内視鏡で後部篩骨洞を観察しているときには画面の内側下方に蝶形骨洞モデルが、また嗅裂を観察しているときには画面中央下方に蝶形骨洞モデルが透亮像として表示される。



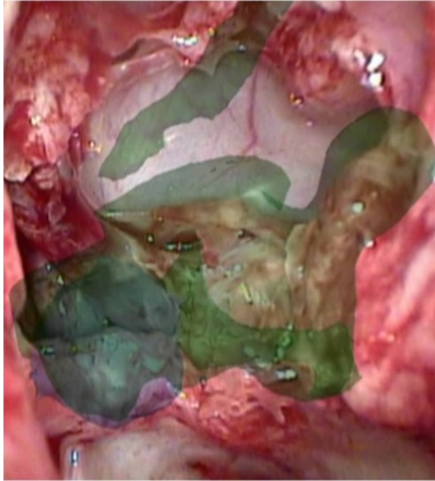


図2：左側後部副鼻腔の立体内視鏡画像（上）と3次元臓器モデルを重畳表示した画像（下）

視神経、蝶形骨洞、蝶形骨洞内粘液嚢胞および内頸動脈のモデルがcolor codingされ内視鏡画像に重ね合わされている。

各臓器の3次元モデルは任意に重畳表示できるので、必要に応じて視神経管や内頸動脈の3次元モデルも同時に透亮像として表示すれば、術者は適切な位置で蝶形骨洞前壁骨を穿破し拡大することができる。

また、適宜サイドモニターを見ることで、蝶形骨洞を開放する前に後壁や視神経管までの距離や方向が確認できる。

術者は適宜、立体視画像に重畳表示したり、通常の二次元的な内視鏡画像に切り替えたりしながら、術野のオリエンテーションを確認し手術操作をすすめた。

(5) 実際に手術を行ってみて -利点と今後の課題-

副鼻腔手術では、基板を除去しながら後方に向かい手術操作をすすめる。すなわち、鈎状突起、篩骨胞、中鼻甲介基板、上鼻甲介基板と続く基板を順次除去し、最終的に篩骨洞と蝶形骨洞の天井に到達する。さら

に篩骨洞内は細かい蜂巢構造である。したがって術中は、「この骨壁のうしろ側には何があるのか。後部副鼻腔なのか？あるいは眼窩内や頭蓋内なのか？」など、骨壁のうしろ側に存在する構造物を予想する。そして、骨壁を除去してさらに後方に操作をすすめるのかどうか、慎重に考える必要がある。

ステレオナビゲーションでは、術者が適宜、立体内視鏡の画面上に、副鼻腔および周囲の各構造物を3次元モデルとして、任意に立体的に重畳表示することができる。さらに、サイドモニターは各構造物と術野との前後の位置関係を、やはり立体的に表示する。この二つの画面表示により、術者は内視鏡で観察している術野、例えば骨壁や膜性組織のうしろ側の構造を、立体的に透見するように見ることができる。従来のナビゲーションシステムよりも、術野や病変部位のオリエンテーションが、はるかに直観的に理解できるため、手術操作はより安全で的確になる。

一方で、本システムの課題として以下の事項が挙げられる。まずは、誤差が生じる可能性である。本症例では、術中の誤差が2~4mm、平均で約4mmの誤差が生じていたが、この誤差はさらに、reflector装着のずれやレジストレーション時のずれ等により大きくなる可能性がある。機械の精度を今後さらに向上させる必要がある。

次に器械のセットアップのために手術時間が延長する事も課題である。本症例では reflecter の装着やプローブのセッティング、またレジストレーション作業のために要した時間は約10分であった。さらに、手術前日までに行った各構造物モデル作成のためのCT画像のセグメンテーションに3時間を費やした。これも含めて、手術の準備作業の簡素化・時間短縮も今後の課題である。

(6) まとめ

立体内視鏡画像上に、副鼻腔構造物や病変の3次元モデルを重畳表示するステレオナビゲーションシステムを開発した。本システムを用いて副鼻腔手術を施行したところ、重畳表示により術野の後方の状況が透見像として直感的にとらえられ、より安全で的確に手術操作が行われた。誤差の存在やセットアップの大変さなどの課題もあるが、今後は難易度の高い手術への応用、また教育システムへの応用などが期待された。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計2件)

1. Hattori A, Suzuki N, Otori N, Iimura J, Moriyama H. Development of a real-time image-guided surgery system for stereo-endoscopic sinus surgery. Stud Health Technol Inform. 2009;142:112-116.

2. 飯村慈朗, 鴻 信義, 服部麻木, 鈴木直樹, 森山 寛: 立体内視鏡下鼻内手術におけるステレオナビゲーションシステムの開発. 耳展 2009; 52:408-410, 2009.

[学会発表] (計2件)

1. 鴻 信義. 鼻内内視鏡手術の新しい展開-より高いレベルの手術を目指して-. 第109回日本耳鼻咽喉科学会. 大阪. 2008年5月15日.

2. Otori N. Development of hi-tech navigation system in endoscopic sinus surgery -stereo navigation and intraoperative renewal of the CT image-. IV Rhinology 2008 & III World Congress for Endoscopic Surgery of the Brain,

Skullbase and Spine. Sao Paulo (Brazil). May 24th, 2008.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鴻 信義 (OTORI NOBUYOSHI)

東京慈恵会医科大学・医学部・准教授

研究者番号: 90233204

(2) 研究分担者

服部 麻木 (HATTORI ASAKI)

東京慈恵会医科大学・医学部・准教授

研究者番号: 90312024

吉川 衛 (YOSHIKAWA MAMORU)

東京慈恵会医科大学・医学部・講師

研究者番号: 50277292

松脇 由典 (MATSUWAKI YOSHINORI)

東京慈恵会医科大学・医学部・講師

研究者番号: 60287290

(3) 連携研究者

なし